

УДК 62-85:539.319

Л.Т. Раевская
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ), smtm@usfeu.ru

РАСЧЕТ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ РАБОЧЕЙ КАМЕРЫ ШЕСТЕРЕННОГО ПНЕВМОМОТОРА

CALCULATION OF THE WORKING CHAMBER CROSS-SECTION OF THE GEAR PNEUMOMOTORS

В настоящей работе предлагается аналитический расчет изменения площади поперечного сечения рабочей камеры шестеренного косозубого пневмомотора. Этот расчет необходим для определения скорости изменения объема рабочей камеры.

We propose in this paper an analytical calculation of the change cross-section of the working chamber air motor helical gear. This calculation is needed to determine the rate of change of the working chamber volume.

Пневмодвигатель (пневмомотор) – машина, которая преобразует энергию сжатого воздуха в механическую работу. Пневмодвигатели часто применяют в качестве привода в условиях работы во взрывоопасных средах или там, где присутствует повышенная влажность. Используют их и для приводов различных инструментов (дрелей, гайковёртов, отбойных молотков, шлифовальных головок), обеспечивая безопасность работы в местах со скоплением газа, угольной пыли. В частности пневмомоторы шестеренные косозубые предназначены для привода различного горного оборудования. Некоторые технические характеристики шестеренных косозубых пневмомоторов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики некоторых шестеренных пневмодвигателей

	К18МФ	2К18МЛ	К30МФ	1К30МФ	1К45МФ
Номинальная мощность, кВт	18,5	18,5	30	30	45
Допустимое предельное отклонение мощности, %, не более	+10 -5	+10 -18	+10 -5	+10 -10	+10 -5
Номинальная частота вращения выходного вала, 1/с	25	25	25	25	16
Номинальный расход воздуха, м ³ /мин	20,9	20,9	32,5	32,5	48,7
Допустимое предельное отклонение расхода, %, не более	+15	+28	+15	+20	+15
Номинальное давление, воздуха, МПа	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4

Основные работы, связанные с совершенствованием конструкции пневмомоторов, повышением их надежности, долговечности, ремонтпригодности, а также с исследованием моторов как сложной газо-механической динамической системы сводятся к трем основным направлениям:

1. Совершенствование конструкции пневмоторов с целью повышения их качества, надежности, долговечности и улучшения санитарно-гигиенических и экологических характеристик [1–3].

2. Изучение и оценка нагруженности пневмоторов, как основы для прочностного и усталостного расчета их узлов и деталей [4–5].

3. Теоретическое исследование процессов (газодинамических, механодинамических), протекающих в пневмоторах и влияющих на них, режимов работы и отдельных конструктивных параметров [6–7].

В настоящей работе предлагается аналитический расчет изменения площади поперечного сечения рабочей камеры шестеренного косозубого пневмотора серии К18.

Упрощенная схема шестеренного пневмотора – две одинаковые шестерни, находящиеся в зацеплении и вращающиеся с одинаковой скоростью $\omega = 25 \text{ с}^{-1}$. При погружении зуба одной шестерни во впадину другой изменяется объем рабочей камеры. Чтобы определить, какова скорость изменения объема рабочей камеры, надо определить, как именно меняется объем впадины при зацеплении, по какому закону.

Математически это сводится к: 1) определению площади, образуемой контуром зуба одной шестерни и дугой окружности вершин, находящейся над впадиной другой шестерни (рис. 1); 2) вычислению зависимости этой площади от времени; 3) определению разности между площадью впадины и площадью, образованной пересечением дуги окружности вершин и зуба.

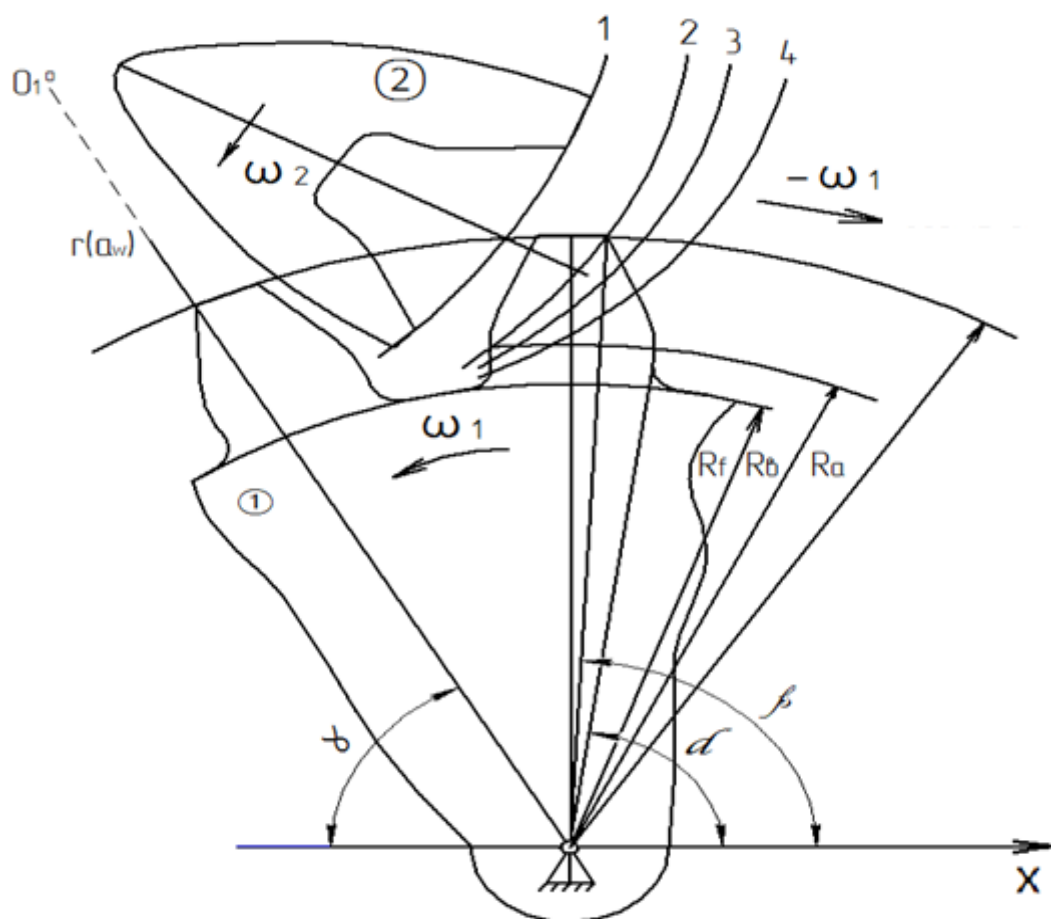


Рис. 1. Схема к расчету

Работа проводилась применительно к шестеренным косозубым пневмоторам К-18А-25. Эти пневмоторы имеют следующие технические характеристики: номинальная мощность – 18,5 кВт, номинальная частота вращения выходного вала – 250 об/мин.

Номинальный расход воздуха – $20,9 \text{ м}^3/\text{мин}$, допустимое предельное отклонение мощности не более $10(-5) \%$, допустимое предельное отклонение расхода воздуха – 15% . Техническая характеристика ротора: модуль – 10 мм , число зубьев – 14 , угол наклона зубьев – 6° , исходный контур соответствует ГОСТу 13755-81, коэффициент смещения – $0,25$, диаметр основной окружности – $132,2 \text{ мм}$, высота зуба – $24,14 \text{ мм}$.

Обозначения, введенные на рис. 1, имеют следующий смысл и значение: R_f – радиус окружности впадин, равный $60,4 \text{ мм}$; R_b – радиус основной окружности ($66,1 \text{ мм}$); R_a – радиус окружности вершин зубьев ($84,5 \text{ мм}$); α – угол между отрезком, проведенным из точки 0 (шарнир на рис. 1) в начальную точку правой эвольвенты зуба, и осью X; β – угол между отрезком, проведенным из точки 0 в конечную точку правой эвольвенты зуба и осью X; γ – угол между отрицательной полуосью X и отрезком, соединяющим центры шестерен (r), в момент касания ($t = 0$) зуба и дуги впадины, $\gamma_0 = 58^\circ$; при дальнейшем взаимодействии зуба и впадины этот угол увеличивается на величину ωt до тех пор, пока $\gamma_0 + \omega t$ не станет равным $\pi/2$. Это произойдет в тот момент, когда центры обеих шестерен окажутся на одной вертикали, в тот же момент время t будет равно половине времени взаимодействия зуба и впадины ($t = 37 \cdot 10^{-4} \text{ с}$); линии – 1, 2, 3, 4 – несколько положений дуги окружности головки впадины, скользящей по поверхности зуба.

При решении задачи использовали принцип обращенного движения. Для этого первую шестерню мысленно останавливали. Рассматривался неподвижный зуб этой шестерни (рис. 2), на который надвигалась впадина другой шестерни. Центр первой шестерни – точка 0 (шарнир на рис. 1) – начало отсчета координат всех точек контура.

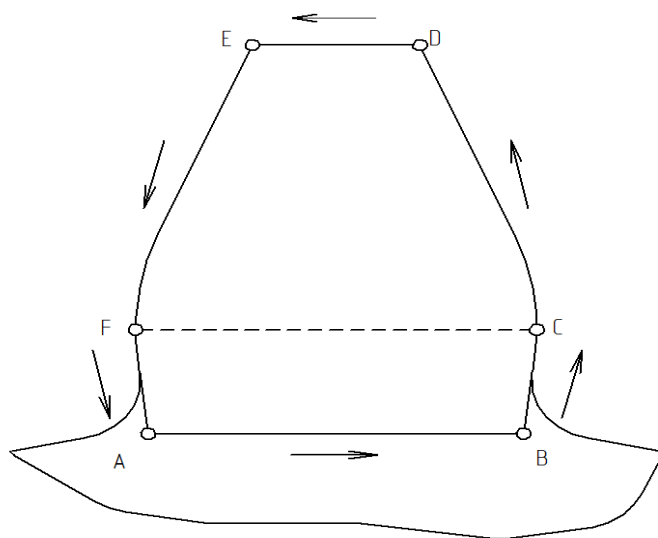


Рис. 2. Контур интегрирования для расчета площади зуба.
Стрелками показано направление обхода контура при интегрировании

С этой точкой связана неподвижная система отсчета X, Y. Центр второй шестерни движется вокруг точки 0 по окружности радиуса $r = R_a + R_f$ ($144,9 \text{ мм}$) с угловой скоростью $\omega = 25 \text{ с}^{-1}$ по часовой стрелке. Это угловая скорость вращения шестерен пневмомотора. Кроме того, вторая шестерня вращается вокруг своего центра по часовой стрелке с угловой скоростью $\omega = 25 \text{ с}^{-1}$. С центром второй шестерни связана подвижная система отсчета, которая движется поступательно с осями, параллельными относительно OX, OY.

Определение площади, образованной пересечением дуги границы впадины (дуга AB) и зуба проводилось с помощью криволинейных интегралов по замкнутому контуру, состоящему из отдельных участков. Уравнения различных участков контура

интегрирования задавались в параметрическом виде. Интеграл по замкнутому контуру вычислялся как сумма интегралов типа

$$S_{AB} = \int_{t_A}^{t_B} x(t)y'(t)dt - y(t)x'(t)dt,$$

взятых по отдельным участкам контура, где S_{AB} – криволинейный интеграл по участку AB ; t_A , t_B – значения параметров в точках пересечения A , B , $x(t)$, $y(t)$ – параметрические уравнения отдельных частей контура интегрирования; $x'(t)$, $y'(t)$ – производные по параметру t .

При расчете площади учитывалось, что при движении шестерен контур интегрирования видоизменялся и приходилось интегрировать по контурам пяти типов, образованным эвольвентами (левой или правой частями) и дугами соответствующих окружностей (рис. 3).

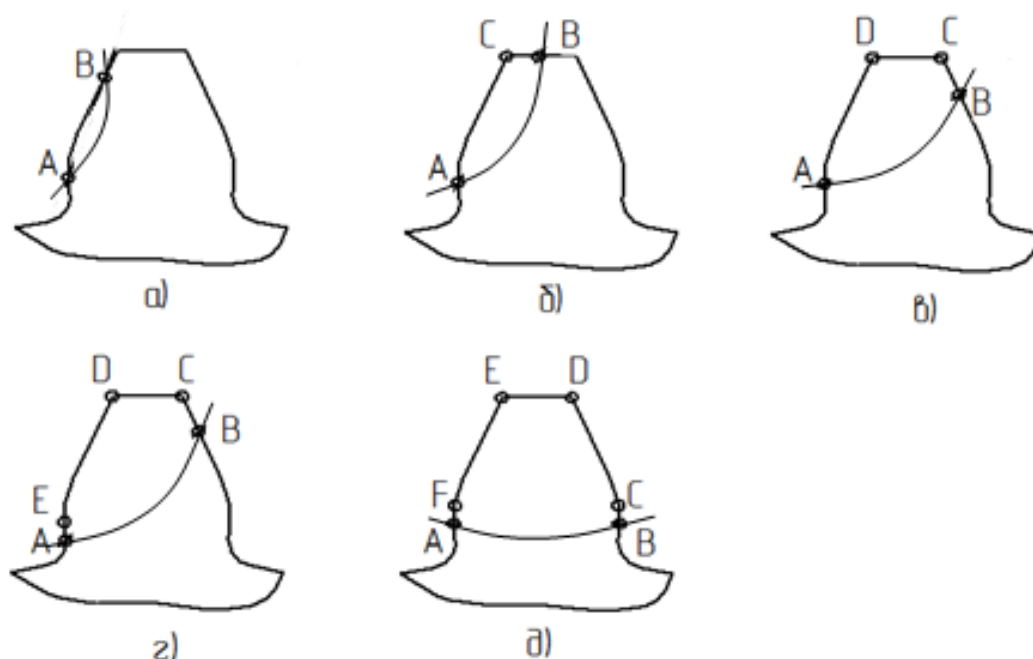


Рис. 3. Контурные интегрирования

Были сделаны следующие приближения:

1. Не была учтена коррекция, что дает несколько заниженные значения радиусов R_a , R_b , R_f . Так как учет коррекции изменит R_i на 4 %, то в первоначальном расчете она не учитывалась.

2. Коэффициент перекрытия был принят равным единице $\varepsilon = 1$ с тем, чтобы получить прежде всего качественные изменения площади впадины при зацеплении.

3. Было принято, что впадина ограничена дугой окружности вершин, хотя, конечно, форма границы зависит от характера вещества, заполняющего впадину. Для различных материалов форма вещества, заполняющего впадину (имеется в виду свободная поверхность), будет различна, но это легко учесть в конечном расчете.

4. Делался расчет изменения площади впадины, а не объема, так как характер изменения площади и объема от времени одинаков. Для определения объема рабочей камеры угол наклона зубьев, составляющий 6° (так как шестерни косозубые) не учитывался.

5. Не учитывались утечки воздуха в рабочих камерах.

Площади пересечения, рассчитанные аналитически, и остаточные площади впадины $S_{ост}$, рассчитанные как разность $S_{ост} = S_{впад} - S_n$, приведены в табл. 2.

В интервале от $t = 1 \cdot 10^{-4}$ до $t = 7 \cdot 10^{-4}$ с данные получены с шагом $\Delta t = 2 \cdot 10^{-4}$ с. Начиная с момента $t = 7 \cdot 10^{-4}$ с (в этот момент дуга окружности впадины пересекает точку, где стыкуются левая эвольвента и отрезок, ограничивающий ножку зуба слева, здесь взята точка с шагом $\Delta t = 1 \cdot 10^{-4}$ с), взят больший шаг $\Delta t = 5 \cdot 10^{-4} \dots 4 \cdot 10^{-4}$ с.

Таблица 2

Площади пересечения и остаточные площади впадины
для некоторых моментов времени

$t, 10^{-4}$ с	1	3	5	7	8	12	16	20	24	28
$S_n, \text{мм}^2$	10	30	26	51	51	196	225	234	234	245
$S_{ост}, \text{мм}^2$	455	435	439	414	296	240	240	228	228	220

Получены аналитические выражения и проведен расчет площадей поперечных сечений рабочих камер, образованных зубьями рабочих шестерен. И хотя мы не учитывали коэффициент перекрытия и коррекцию зацепления, проведенная оценка показала, что погрешность этого допущения невелика.

Библиографический список

1. Таугер М.Б. Об эффективности некоторых способов снижения шума пневмомоторов ДАР / М.Б. Таугер // Сб. трудов НИПИГормаша: Горные машины. Конструкция, расчет и исследование горных машин. – Вып. 20; под ред. докт. техн. наук Д.Т. Анкудинова. – Свердловск, 1991. – С. 204–210.
2. Раевская Л.Т. Сечение поршня и расчет напряжений / Л.Т. Раевская // Вестник ИЖГТУ. – № 2(46). – 2010 г. – Ижевск. – С. 4–7.
3. Анкудинов Д.Т. Влияние числа и схемы установки поршней пневмомоторов типа ДАР на их параметры / Д.Т. Анкудинов, Л.Т. Раевская, М.Б. Таугер // Пневматика и гидравлика. Приводы и системы управления: сб. науч. статей. – Вып. 15; под общ. ред. докт. техн. наук Е.В. Герц. – М.: Машиностроение. – 1990. – С. 14–24.
4. Анкудинов Д.Т. Динамическая нагруженность многоцилиндровых аксиально-реверсивных пневмомоторов: тезисы докладов. – Часть I / Д.Т. Анкудинов, Л.Т. Раевская, М.Б. Таугер // Пневматика и гидравлика. Всесоюзное совещание. – Суздаль. Апрель 1990. – М., 1990. – С. 40–41.
5. Раевская Л.Т. Нагруженность аксиально-поршневых пневмомоторов / Л.Т. Раевская, Д.Т. Анкудинов // Формирование лесного регионального кластера: социально-экономические и экологические проблемы и перспективы лесного комплекса: матер. VIII Междунар. научн.-техн. конф. – Екатеринбург, УГЛТУ. – 2011. – С. 18–20.
6. Гилев П.А. Рациональная геометрия конструкции / П.А. Гилев, Л.Т. Раевская // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: мат-лы V Всерос. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – Ч 1. – С. 348–349.
7. Раевская Л.Т. Характеристики вибраций деталей пневмодвигателя / Л.Т. Раевская // Вестник ИЖГТУ. – № 2 (58). – 2013. – Ижевск. – С. 16–19.